УДК 656.61.052.4-52

Ю.Л. Сиек, Соэ Мин Лвин
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Россия

Принципы синтеза интеллектуальных систем управления морскими динамическими объектами

Рассматриваются вопросы методологии синтеза интеллектуальных систем управления морскими динамическими объектами с учетом недостоверности знаний об объекте управления и условиях его функционирования. Обсуждаются причины возникновения неполноты информации. Анализируется эволюция систем управления в направлении компенсации влияния неточности и неопределенности информации на качество процесса управления.

Введение

Прогрессирующие направления развития современных вычислительных средств оказывают революционное влияние на все сферы мировой и отечественной науки и техники. Впечатляющие достижения в этой области открывают все новые и новые возможности повышения степени автоматизации, точности и качества функционирования различных, в том числе и морских, сложных технических систем. Новые научно-практические принципы их проектирования в настоящее время ориентированы в первую очередь на создание аппаратно-программного обеспечения управляющих вычислительных систем, организующих и поддерживающих управление процессами на основе применения эффективных информационных технологий.

При создании новых средств освоения и использования Мирового океана одной из проблем является учет и компенсация влияния неточности и неопределенности информации о разрабатываемой морской технической системе и условиях ее функционирования на эффективность принимаемых проектных решений. Это особенно важно при синтезе систем управления (СУ) многофункциональными морскими динамическими объектами (МДО) с изменяющимися в процессе работы структурой, весогабаритными параметрами, гидродинамическими характеристиками, также испытывающими в процессе плавания различные внешние возмущения [1]. Указанные факторы вносят существенную недостоверность в знания, которые необходимы для проектирования СУ МДО, обеспечивающей требуемое качество процесса управления.

Принципы построения СУ МДО зависят как от выбранного при проектировании множества целей, для которых предназначен разрабатываемый объект, так и от априорной неполноты информации. Если достижение выбранных целей возможно обеспечить при конструктивной определенности МДО и достаточном объеме сведений о нем и условиях его функционирования для всего периода эксплуатации, то рационален выбор автоматической организации процесса управления. В случае отсутствия ясности в определении множества целей и при наличии недостоверности знаний о МДО традиционно считается целесообразным вариант СУ с человеком-оператором, как лицом, принимающим решения (ЛПР). Предполагается, что его опыт, навыки и эвристические

возможности позволят компенсировать влияние недостоверности знаний в процессе функционирования объекта. В информационно сложных ситуациях, складывающихся в процессе плавания, ЛПР вынужден выполнять функции регулятора в контуре управления МДО с помощью движительно-рулевого комплекса. Это значительно увеличивает зависимость качества процесса управления от его психофизиологических и эвристических свойств, снижая эффективность всей технической системы. Очевидно, что для обеспечения требуемой надежности целесообразно проектирование таких СУ, которые имитируют способность человека-оператора принимать правильные управленческие решения в сложных информационных ситуациях в условиях автоматического или полуавтоматического процесса функционирования.

Одним из рациональных подходов к решению рассматриваемой проблемы является синтез интеллектуальных СУ МДО. Основной принцип построения таких систем – программная и аппаратная реализация алгоритмического обеспечения, использующего эффективные информационные технологии приобретения, представления и обработки знаний об объекте управления и их применения для формирования управленческих решений на основе методов современного искусственного интеллекта [2]. Это позволяет создать условия снижения требований к знаниям, используемым как на этапе проектирования системы, так и получаемым в процессе функционирования МДО, при сохранении требований к качеству управления [3].

1. Компенсация недостоверности знаний в системах управления

Морские технические системы различного назначения представляют собой сложные априорно неточные и неопределенные по своим характеристикам управляемые динамические объекты, функционирующие в недостоверно известной среде и разнообразных ситуациях, описание которых всегда является неполным на этапе проектирования СУ. Укажем только некоторые из основных причин, которые порождают недостоверность знаний, влияющих на качество процесса управления и успешность достижения поставленной цели.

Многофункциональность МДО, поддерживаемая его модульностью, предполагает варьирование в процессе эксплуатации его конструкции и технических характеристик. Необходимость изменения состава исследовательской аппаратуры и производственного оборудования приводит к изменению в широком диапазоне его весогабаритных параметров. Однако даже в условиях их стационарности присутствует недостоверность знаний о силовом воздействии среды, уточнение которых требует проведения масштабных и дорогостоящих научных исследований [4].

Важным фактором, вызывающим существенную неопределенность при проектировании СУ, является отсутствие информации о нештатных ситуациях функционирования, при развитии которых принципиально важно сохранение управляемости МДО. Эти ситуации могут порождаться отказом отдельных технических систем объекта, возникновением перегрузок при ударных воздействиях, превышением значений кинематических параметров выше допустимых пределов и рядом других факторов.

Существенной причиной неопределенности является неполнота знаний о внешних возмущениях. К ним, в первую очередь, следует отнести резкие перепады ветроволновых воздействий на МДО [4].

Вызывает неопределенность и многоцелевая ситуация, когда недостаточно имеющихся знаний для конкретизации текущей цели управления и требуется временной

интервал для накопления необходимой информации. Такая проблема характерна, например, для МДО, решающего поисковые задачи.

Рассмотренные причины порождают проблему учета и компенсации недостоверности знаний при проектировании СУ МДО. В общем, это понятие включает в себя как априорную неточность и неопределенность информации об объекте и условиях его функционирования, так и неполноту измерений, используемых СУ для формирования управляющих воздействий в процессе плавания. В первом случае мы имеем ограниченность прогноза, выраженную в недостоверности знаний о математической модели описания движения МДО.

Важнейшим фактором, влияющим на синтез СУ, является структурная неопределенность, характерная для конструктивно сложного МДО с изменяющимся в процессе плавания модульным составом и решающего широкий спектр задач сложного пространственного маневрирования в различных ситуациях. Для ряда случаев описание движения таких объектов не поддается математической формализации и может быть выполнено только на качественном уровне.

Наиболее характерна для прогноза параметрическая неопределенность. Для МДО она, в первую очередь, выражается в интервальном представлении весовых и габаритных характеристик, а также параметров моделей расчета силового воздействия жидкости на движущейся в ней объект. Однако следует отметить наличие априорной возможности оценки номинальных значений проектных параметров. Это рационально учитывать при математическом моделировании СУ.

Отсутствие сведений обо всех возможных режимах функционирования МДО, а следовательно, и их математических описаний порождает ситуационную неопределенность. В этом случае нет взаимно однозначного соответствия между элементами множества возможных ситуаций и множества моделей движения.

Неполнота прогноза проявляется в неопределенности и многообразии целей управления. Это затрудняет или делает невозможным выбор конкретной цели для исследуемой ситуации и ее формализацию для синтеза СУ.

При эксплуатации МДО неопределенность необходимой для формирования управляющих воздействий информации вызвана ограниченными возможностями аппаратного обеспечения процесса наблюдения за текущим состоянием объекта управления и окружающей средой. Технические характеристики информационно-измерительного комплекса СУ объективно не позволяют получать данные о всех необходимых для управления параметрах. Это служит причиной недостаточности объема используемой информации. Ограниченность технических возможностей и внешние случайные помехи процессу наблюдения существенно влияют на точность и определенность измерений, внося интервальность в значения фиксируемых параметров и снижая степень уверенности в их принадлежности к объекту наблюдения.

Уменьшение влияния указанных факторов как на качество процесса управления, так и результат достижения поставленной цели функционирования является главной проблемой при практической реализации любой возможной методологии синтеза СУ МДО. Ее решение обеспечивается учетом недостоверности априорных знаний на основе формализации неточности и неопределенности информации, заложенных в описательной модели и МДО, и условий его эксплуатации. Эволюция принципов построения СУ иллюстрирует стремление к снижению степени влияния недостоверности имеющихся знаний и измерительной информации на качество процесса управления. Основные известные подходы к решению этой проблемы на системном уровне отражены на рис. 1.



Рисунок 1 – Эволюция систем управления

К системам управления, учитывающим только априорную информацию о процессе функционирования, относятся разомкнутые системы, реализующие принцип программного управления. Такие системы характеризуются низкой устойчивостью по отношению к неучтенным при проектировании СУ внешним воздействиям, возникающим в ходе работы. Для компенсации этого фактора и повышения качества управления разработаны методы синтеза СУ, реализующих принцип обратной связи. Такой подход позволил учесть информацию о текущем состоянии МДО и воздействующих на него возмущениях. Однако появились проблемы, связанные с трудностью организации измерения всех необходимых для управления параметров, а также с влиянием степени адекватности, принятой на этапе синтеза СУ математической модели объекта реальным свойствам МДО. Для компенсации влияния этих факторов разработаны методы синтеза, обеспечивающие свойства робастности СУ. Такие методы разработаны в рамках теории чувствительности, H^{∞} – управления и др. [5], [6]. Однако недостатком таких СУ является консервативность, так как информация о неопределенностях, которая может поступать в процессе функционирования, не используется для организации процесса управления. Для преодоления влияния данного недостатка разрабатываются адаптивные СУ МДО [1], предусматривающие идентификацию неизвестных параметров математической модели и самонастройку системы с компенсацией возмущений. Адаптационные свойства СУ позволяют снизить влияние априорной неопределенности на качество процесса управления. К недостаткам таких систем следует отнести существенную чувствительность к воздействиям на начальном этапе функционирования МДО, а также отсутствие робастности к неучтенным в прямых и непрямых алгоритмах адаптации внешним и параметрическим возмущениям [7].

Развитие принципов проектирования СУ МДО, функционирующих в условиях неопределенности, основано на применении идеологии интеллектуальных систем, разрабатываемой в теории искусственного интеллекта. Такой подход предполагает построение СУ, реализующей процедуры приобретения, представления и обработки знаний о МДО, окружающей его среде и самой системе управления. Эти знания извлекаются из описательной модели на этапе проектирования системы и поступают от информационно-измерительного комплекса в процессе функционирования. Эффективная обработка этих знаний позволит уточнить текущее представление об объекте управления и среде, что позволяет повысить качество управления и эффективность достижения поставленной цели функционирования. Такое направление в развитии СУ МДО требует выбора концепции синтеза таких систем.

2. Концептуальные основы синтеза интеллектуальных СУ МДО

Для обоснования выбора методологического обеспечения процесса проектирования СУ, основанных на знаниях, необходима конкретизация признака «интеллектуальности» системы.

В теории искусственного интеллекта сформулированы понятия систем управления, обладающих свойствами «интеллектуальности в большом» [8]. В этом случае предполагается, что система имеет многоуровневую иерархическую структуру со следующими горизонтами (в порядке понижения ранга): обучения, самоорганизации, прогноза событий, баз событий и знаний, формирования решений, планирования операций по реализации сформированного решения, адаптации и исполнительного уровня. На самом нижнем горизонте используются традиционные системы регулирования. Остальные уровни реализуют эффективные информационные технологии работы со знаниями, существенно расширяющие возможности модели объекта управления и, следовательно, повышающие качество функционирования системы. Минимальная структура, сохраняющая свойство системы – «интеллектуальность в малом» – может содержать базу знаний, формирователь решений и исполнительный контур.

Развитие признаков указанных свойств «интеллектуальности» в разрабатываемых СУ любого МДО требует реализации следующей последовательности проектирования:

– приобретение априорных знаний об объекте управления и условиях его функционирования;
– представление знаний с учетом выбранного формализма неточности и неопределенности;
– синтез алгоритмов принятия решений и формирования управления на основе технологии активных экспертных систем с использованием моделей декларативных и процедурных знаний;
– анализ качества управления движением МДО с интеллектуальной СУ по результатам имитационного моделирования с учетом недостоверности знаний;
– аппаратная реализация интеллектуального управляющего устройства на основе применения производительных вычислительных сред, построенных с использованием технологий последующих поколений компьютеров.

Приобретение знаний о МДО и условиях его функционирования предполагает составление описательной модели с анализом всех возможных ситуаций, в том числе и аварийных. Обязательно описание сценариев развития и смены ситуаций. В модели выделяются все информационные объекты, которые характеризуются неточностью и неопределенностью. Все априорные сведения объединяются в базу знаний на основе выбранной модели их представления. Эффективной формой построения базы знаний является модульная конструкция, управляемая образцами [9]. За образцы выбираются эталонные ситуации функционирования МДО. Каждой ситуации соответствует фреймовая конструкция, содержащая в слотах процедуры расчета сил и моментов, действующих на МДО, и определения текущих кинематических параметров. В базе данных содержатся численные значения параметров с указанием их степени неопределенности. Рациональным формализмом неточности и неопределенности информации для рассматриваемой методологии является нечеткое множество, предложенное Л.А. Заде [10]. В этом случае характеристикой неточности и неопределенности служит функция принадлежности нечеткого множества.

Описание перемещения в пространстве МДО зависит от уровня структурной неопределенности модели движения и может быть построена на основе одной из известных форм моделей [11]: детерминированной, недетерминированной, стохастической и нечеткой. Для первых трех форм удобно использование формализма динамики систем твердых тел, который учитывает сложность конструкции перспективных объектов управления. Для четвертой формы движение МДО может быть описано нечеткими дифференциальными включениями и логико-лингвистическими моделями [12]. Для построения данных моделей используются методы имитационного моделирования движения МДО в сочетании с технологиями экспертных систем.

Алгоритм управления для каждой эталонной ситуации проектируется на основе методологии построения активных нечетких экспертных систем. Ядром процедуры формирования команд является база знаний с набором продукционных правил. Ее заполнение осуществляется на основе моделирования эталонных ситуаций с учетом принятых неопределенностей и решением оптимизационной задачи для выбранного критерия отличия формируемых траекторий движения от желаемых. Учитывая комбинаторный характер задачи целесообразно построение эволюционных систем проектирования баз знаний. Результатом проектирования является система нечетких продукционных правил и фреймовые формы представления соответствующих функций принадлежности. В качестве процедуры нечеткого вывода из системы знаний рационально применение композиционного правила, реализованного на основе мер возможности. Для перехода от нечеткой формы многомерного выхода контроллера к четкой целесообразно применение метода «центра тяжести». Открытость СУ МДО обеспечивается включением процедур самонастройки и самоорганизации на основе моделей нечеткого автомата.

Вариант структуры интеллектуальной системы управления движением МДО, учитывающий особенности рассматриваемого подхода, приведен на рис. 2. В данном случае базовые свойства интеллектуальности поддерживаются на аппаратно-программном уровне в бортовом вычислительном управляющем устройстве. Это обеспечивается программной реализацией таких алгоритмических элементов как:

– синтез текущей цели управления на основе заданной мотивации;
– генерация задач управления, успешное решение которых обеспечивает достижение текущей цели управления;
– решатель задач, в котором формируются алгоритмы преобразования входной информации в результат решения требуемой задачи с применением информационных технологий баз знаний;
– формирователь команд, в котором результаты решения задач интерпретируются в виде команд управления, подаваемых в исполнительную систему;
– самоорганизация, самонастройка, самообучение, обеспечивающие открытость системы, необходимую для текущего совершенствования алгоритмов решения задач;
– прогноз, который позволяет при решении задач учитывать перспективу изменения свойств объекта и внешней среды.

Минимально необходимыми элементами системы управления являются решатель и формирователь команд. В этом случае свойство интеллектуальности СУ обеспечивается в решателе на алгоритмическом уровне с применением технологий баз знаний.

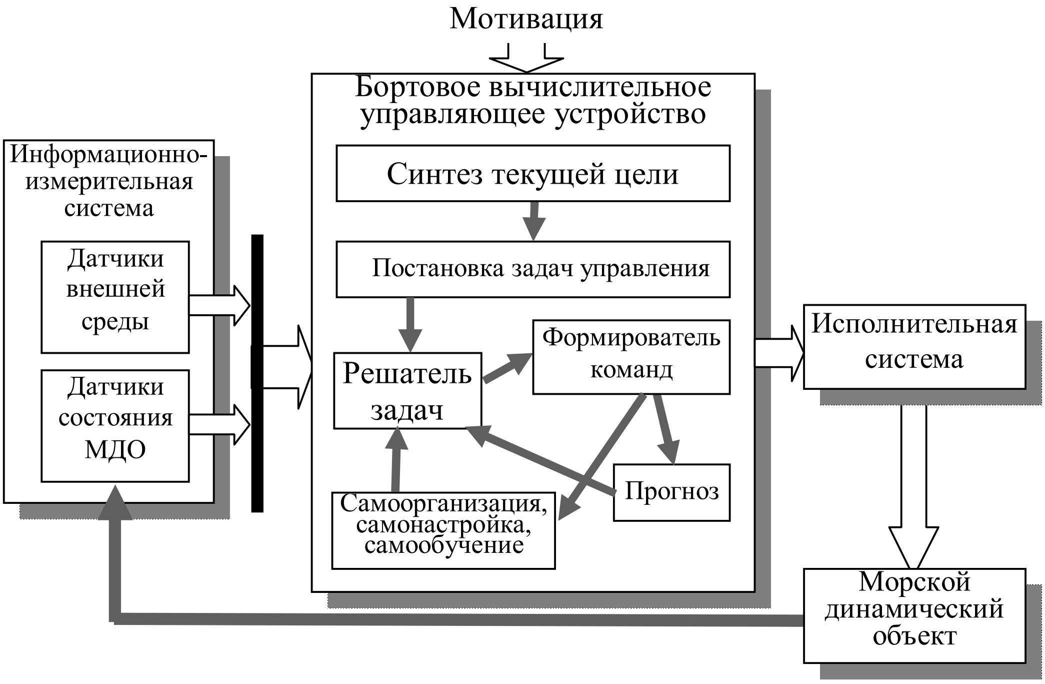


Рисунок 2 – Интеллектуальная система управления МДО

Анализ качества процесса управления, реализуемого с помощью интеллектуальной системы, предполагает решение задачи имитационного моделирования замкнутой СУ МДО с учетом принятых формализмов неточности и неопределенности информации [13]. Функционирование объекта представляется сценарием изменения ситуаций с описанием их информационных особенностей. В базе знаний, построенной на основе модели, управляемой образцами, оценивается мера сходства нечеткой текущей ситуации с эталонной из заданного множества. В качестве меры сходства нечетких ситуаций рационально использовать степень нечеткого включения [14]. В соответствии с выбранной ситуацией в соответствующем алгоритме управления формируется команда управления. Текущая оценка показателя качества управления характеризует достигнутый уровень эффективности.

Для аппаратной реализации интеллектуальных управляющих устройств в СУ МДО целесообразно применение бортовых вычислительных сред, построенных на нечетких нейропроцессорах [15]. Такая архитектура может содержать блок нечеткой памяти, обеспечивающий хранение нечетких слов (дискретное представление функции принадлежности нечеткого множества), набор машин нечетких выводов с поддержкой композиционного правила и блоки преобразования нечетких величин в четкие.

Другим возможным подходом к аппаратной поддержке свойств интеллектуальности системы является применение бортовых вычислительных систем с программируемой архитектурой и реализация на них структуры нейронных сетей. Это обеспечивает рациональное использование внутреннего параллелизма, присущего нечетким продукционным моделям алгоритмов управления интеллектуальным контроллером, для повышения производительности вычислительной системы. Эффективным вариантом такого решения является многослойная нейронная сеть с формированием матрицы синапсов на основе применения метода обратного распространения ошибки. Обучение сети ведется по известной входной и выходной информации, получаемой по результатам имитационного моделирования СУ МДО.

Заключение

Рассмотренный подход к методологии синтеза интеллектуальных систем управления является достаточно универсальным для проектирования СУ МДО различного назначения. Он объединяет в себе принципы традиционного синтеза СУ, разрабатываемые в рамках классической теории управления, и эффективные информационные технологии работы со знаниями, предлагаемые современным искусственным интеллектом. Практическая реализация такого подхода позволяет:

– компенсировать за счет повышения степени интеллектуальности СУ влияние на качество процесса управления неточности и неопределенности информации, используемой как на этапе проектирования системы, так и в процессе ее функционирования;

– обосновать целесообразность применения в качестве бортовых вычислительных сред МДО компьютеров последующих поколений и формировать алгоритмические основы проектирования для них программного обеспечения.

Изложенный подход позволяет наметить некоторые направления дальнейшего развития интеллектуальных СУ МДО:

– конкретизация в вычислительном аспекте понятия категории интеллектуальности алгоритмов управления МДО и формализуемого на ее основе принципа интеллектуальности с учетом реализации алгоритмов в бортовых вычислительных системах с архитектурой и элементной базой компьютеров следующих поколений;

– математическое описание новых классов моделей алгоритмов управления, учитывающих свойства неточности и неопределенности используемой при их синтезе информации, которые формализуются в терминах нечетких мер;

– создание комплексов программной поддержки методов анализа и синтеза интеллектуальных систем управления МДО при нечеткой информации;

– разработка программно-аппаратного интерфейса для сопряжения бортовых вычислительных систем новых поколений с элементами систем управления различных МДО.

Изложенные принципы работы могут быть использованы для проектирования алгоритмического обеспечения интеллектуальных систем принятия решений и управления по нечеткой исходной информации для различных МДО.

Литература

1. Лукомский Ю.А. Управление морскими подвижными объектами : учебник / Ю.А. Лукомский, В.М. Корчанов. – СПб. : Элмор, 1996. – 320 с.
2. Пупков К.А. Интеллектуальные системы / К.А. Пупков, В.Г. Коньков. – М. : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 348 с.
3. Нечаев Ю.И. Концептуальные основы создания бортовых интеллектуальных систем / Ю.И. Нечаев // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2006. – № 9. – Ч. 2: Корабельные системы. – С. 39-49.
4. Нечаев Ю.И. Моделирование устойчивости на волнении / Нечаев Ю.И. – Л. : Судостроение, 1989.
5. Розенвассер Е.Н. Методы теории чувствительности в автоматическом управлении / Е.Н. Розенвассер, Р.М. Юсупов. – Л. : Энергия, 1971. – 344 с.
6. Kwakernaak H.A. $H^{Г}$ – optimization / Kwakernaak H.A. // 1 st IFAC Symp. on Des. Methods of Contr. Systems. – ETH Zurich, Sw., Sept. 4-6, 1991.
7. Курдюков А.П. Комбинирование робастного и адаптивного управления с помощью интеллектуальных систем / А.П. Курдюков, А.В. Семенов, В.С. Косиков // Изв. вузов. Приборостроение. – 1994. – Т. 37, № 9. – 10. – С. 15-18.
8. Захаров В.Н. Нечеткие модели интеллектуальных промышленных регуляторов и систем управления. / В.Н. Захаров, С.В. Ульянов // Эволюция и принципы построения. Известия РАН. Техническая кибернетика. – 1993. – № 4. – С. 189-206.

9. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб. : Питер, 2001. – 384 с.
10. Zadeh L.A. Fuzzy sets / L.A. Zadeh // Inf. Contr. – 1965. – № 8. – P. 338-353.
11. Негойце К. Применение терии систем к проблемам управления / Негойце К. – М. : Мир, 1981. – 180 с.
12. Алиев Р.А. Нечеткие регуляторы и интеллектуальные промышленные системы управления / Р.А. Алиев, Э.Г. Захарова, С.В. Ульянов // Итоги науки и техники. Сер. Техн. кибернетика. – 1991. – Т. 32. – М. : ВИНИТИ АН СССР.
13. Нечаев Ю.И. Математическое моделирование в бортовых интеллектуальных системах реального времени / Нечаев Ю.И. // тр. 5-й Всероссийской конференции «Нейроинформатика-2003». – М. : МИФИ, 2003. – Ч. 2 : Лекции по нейроинформатике. – С. 119-179.
14. Берштейн Л.С. Параллельный процессор нечеткого вывода для ситуационных экспертных систем / Л.С. Берштейн, В.М. Казупеев, С.Я. Коровин, А.Н. Мелихов // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1990. – № 5. – С. 181-191.
15. Yamakawa T. High speed fuzzy controller hardware system / Yamakawa T. // Proc. 2nd Fuzzy System Symposium. – Tjkyo, Japan. – 1986. – № 6. – P. 122-130.

Ю.Л. Сієк, Сое Мін Лвін

Принципи синтезу інтелектуальних систем керування морськими динамічними об’єктами

У статті розглядаються питання методології синтезу інтелектуальних систем керування морськими динамічними об’єктами з огляду на недостовірність знань щодо об’єкта керування в умовах його функціонування. Обговорюються причини виникнення неповноти інформації. Аналізується еволюція систем керування у напрямку компенсації впливу неточності та невизначеності інформації на якість процесу керування.

Yu.S. Syek, Soer Min Lvin

The Principles of Designing of Intelligent Control System of Sea Dynamic Objects

Questions of methodology of the designing of intelligent control systems of sea dynamic objects in terms of un-authenticity of data on control object and conditions of its functioning are considered. The reasons of incompleteness knowledge appearance are discussed. Evolution of control systems is analyzed in a direction of compensation influence of inaccuracy and uncertainty of the information on quality of control process. For the problem decision it is offered to raise degree of intellectuality system at the counting of application of the effective information technology, which developed within the frame of a modern artificial intelligence. In a quality of formalism, which considered inaccuracy and uncertainty, the concept of fuzzy set is chosen. The methodology of designing of the intelligence control systems is offered.

Статья поступила в редакцию 09.06.2009.